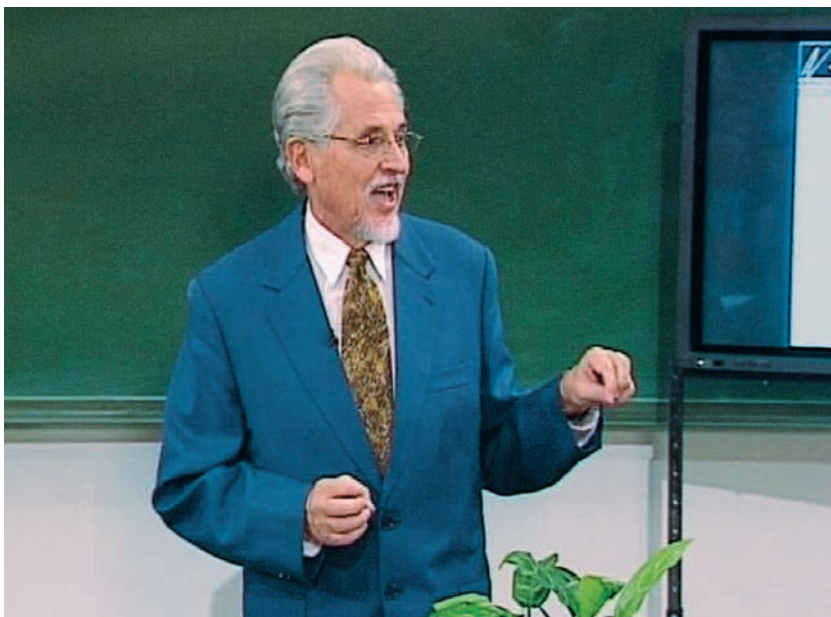


VENETIANER PÁL

Megismerhetők és megváltoztathatók-e génjeink?



*Venetianer Pál
biokémikus, egyetemi tanár
az MTA rendes tagja*

A **genetika** divatban van. A világsajtó főcímeiben tudósított az amerikai elnök és a brit miniszterelnök közös sajtóértekezletéről: Bill Clinton és Tony Blair 2000. június 26-án bejelentette a Humán Genom Program sikeres befejezését, azaz az emberi öröklési állomány teljes szerkezetének megismerését. Naponta értesülünk a hírekből egy-egy új betegségokozó *gén* megismeréséről, a génterápia sikereiről és kudarcairól vagy éppen a genetikailag módosított élelmiszerekkel kapcsolatos vitákról, viharokról. A tudományos fantasztikus filmeknek és regényeknek is kedvelt témája, hogyan próbálják a gonosz genetikusok manipulálni az embert és a világot. Előadásom ezekről a kérdésekről fog szólni. Céloom az, hogy segítsen a tájékozódást, az ítéletalkotást, és eloszlassak néhány közkeletű félreértést.

1935-ben született. 1957-ben végzett az ELTE Természettudományi Karának biológia-kémia szakán, 1965-ben a biológiai tudományok kandidátusa, majd 1975-ben akadémiai doktora lett. 1987 óta az MTA levelező, 1995-től rendes tagja. Az Academia Europea, az EMBO és a német Leopoldina Akademia tagja.

Pályáját a SOTE Orvosi Vegytani Intézetében kezdte, innen került 1971-ben az MTA Szegedi Biológiai Központjába: a Biokémiai Intézet igazgatója (1984–1993), majd a központ főigazgatója (1994–1996) volt. 1997-től ugyanitt kutatóprofesszor. Számos külföldi egyetemen tanított és kutatott mint vendégprofesszor. Jelentős szakfolyóiratok szerkesztőbizottságának tagja.

Főbb kutatási területei: a biokémia és a molekuláris biológia. Nevéhez több enzimológiai felfedezés fűződik.

A kezdetektől a kettős spirálig

Az ember természetesen évezredek óta tudja, hogy a gyermekek többé-kevésbé hasonlítanak szüleikre, de nem azonosak velük, hogy a szülői tulajdonságok kiszámíthatatlan módon keverednek az utódokban, olykor

**Genetika:**

az öröklődés tudománya.

DNS:

kémiai nevén dezoxiribonukleinsav, az öröklődés anyaga minden élő szervezetben.

Gén:

az öröklődés egysége.

megjelennek olyan tulajdonságok a gyermekben, amelyek valamelyik távoli őstől származnak, de a szülőikben nem voltak jelen, és hasonló jelenségek mind az állatoknál, mind a növényeknél megfigyelhetők. Ezt a jelenséget nevezzük átöröklésnek. Az, hogy ennek az életjelenségnek szigorú szabályszerűségeit, pontos előrejelzéseket, jóslásokat lehetővé tevő törvényeit megismertük, egyetlen zseniális ember munkásságának köszönhető.

A brnói apátság kertjében magányosan, ismeretlenül és elismeretlenül kertészkedő Gregor Mendel kísérleteinek köszönhető a genetika tudományának megszületése, bár ő maga ezt a szót nem használta és nem ismerte. Sőt egyáltalán nem foglalkozott azzal a kérdéssel, hogy az általa elemzett tulajdonság létrejöttéért mi a felelős, hogy miben rejlik ez a meghatározottság, hogyan van jelen az ivarsejtekben, és hogyan nyilvánul meg később. Ő tényezőkről, faktorokról beszélt, ezek később kapták a „gén” nevet. W. L. Johanssen dán genetikus – akitől az elnevezés származik – sem foglalkoztatta, hogy mi a gén. Ma ezt már pontosan tudjuk.

Mendellel szinte egy időben vont ki sebesült katonák gennyel átitatott kötéseiből és azonosított kémiai anyagot Friedrich Miescher svájci katonaorvos, ennek az anyagnak a szerepéről azonban sokáig semmit sem lehetett tudni. Ezt nevezzük ma **DNS**-nek. Ez a betűszó könnyebben kimondható és megjegyezhető, mint az anyag teljes kémiai neve: dezoxiribonukleinsav.

Több mint fél századdal ezelőtt, 1944-ben Oswald Avery, amerikai mikrobiológus kísérletei bizonyították először (akkor ezt még kevesen hitték el), hogy minden bizonnyal ez a DNS az öröklés anyaga, maga a **gén**.

Azt persze, hogy ez a takonyszerű valami hogyan határozhatja meg a vércsoportot, a szemszínt, sőt esetleg az intelligenciát, akkoriban a tudósoknak éppoly nehéz volt elképzelni, mint az átlagembernek, de a következő években megszülető új tudomány, a molekuláris biológia sok mindent tisztázott. James Watson és Francis Crick megalkották a DNS szerkezetének híres kettősspirál-modelljét, amely sok mindent érthetővé tett.

Mi most e szerkezetnek elsősorban azzal a sajátosságával foglalkozunk, hogy a DNS hosszú molekulája (sok rostos, fonalas természetes anyaghoz hasonlóan) kisebb egységek összekapcsolódásával épül fel. Négy ilyen – egymástól kissé különböző szerkezetű – egység létezik, ezeket a biokémikusok kémiai nevük kezdőbetűivel: A, C, G, T jelölik. Ezek az egységek a természetes DNS-molekulákban meghatározott, de nem szabályos sorban követik egymást, ahogy egy értelmes, bármely nyelven írott szövegben a betűk. És ez nem csak hasonlat: valóban erről van szó. Az A, C, G, T betűkkel jelzett elemek sorrendje testesíti meg az „üzenetet”, az „információt”, a „hírt”, amely raktározza és átadja az örökletes tulajdonságok meghatározását.

Ezt úgy kell elképzelnünk, hogy e molekulák szerkezeti különbségei a DNS-molekula külső felületén olyan domborzatkülönbségeket okoznak, mint a vakok Braille-írásának írásjegyei közti különbségek, és ezeket a különbségeket „olvassa le” a sejt biokémiai apparátusa, majd egy, ma már



Mendel, Gregor Johann
(1822–1884)

minden részleteiben ismert mechanizmus és egy megfejtett rejtjelkulcs – a „genetikai kód” – segítségével „lefordítja” a sejtek anyagcseréjét irányító molekulák, a fehérjék „nyelvére”.

Erre a fordításra azért van szükség, mert a fehérjék jóval bonyolultabb molekulák, mint a DNS, nem négy, hanem húsz igen különböző elem építi fel őket, és mivel egy **fehérje** több száz ilyen elemből, **aminosavból** is állhat, a különböző lehetséges fehérjék száma meghaladja a világegyetemben lévő atomok számát, és ezek hihetetlenül sokféle módon feltekeredve a legváltozatosabb szerkezeteket hozhatják létre. Az, hogy négy, egymástól kevésbé különböző „jelből” álló üzenet kódolhat húsz, egészen különböző jelből álló információt, nem meglepő, hiszen a számítógép mindössze két jellel képes kódolni az ábécé valamennyi betűjével leírható tetszés szerinti szöveget.



Avery, Oswald Theodore
(1877–1955)

A DNS és a Humán Genom Program

Kimondhatjuk tehát, hogy a föld valamennyi élőlényében valamennyi örökletes információ a DNS-t alkotó négy alapelem egymásutániségában, sorrendjében van raktározva, kódolva. A legkisebb vírusok esetében ez az „üzenet” mindössze néhány ezer „betűből” áll, a baktériumoknál az üzenet hossza néhány millió betű – azaz nevezzük már nevén, az A, C, G, T betűkkel jelzett elemek kémiai neve: **nukleotid**. Az embernél ez a betűsor 3,15 milliárd nukleotidból áll. Ennek a számnak az irdatlan nagyságát talán jól illusztrálja, hogy átlagos betűmérettel egy sorba leírva ez a 3,15 milliárd be-

Fehérje:

húszféle aminosavból felépülő makromolekula, az élő szervezet egyik alapvető komponense. A fehérjék szinte végtelenül sokfélék lehetnek; a sejt a DNS-ben kódolt információ alapján hozza létre őket.

Aminosav:

a fehérjéket felépítő húszféle szerves molekula.

Nukleotid:

négyféle szerves bázis (adenin, citozin, guanin, timin) valamelyikéhez kötött cukor (deoxiribóz) és foszfátcsoport; a DNS építőköve.



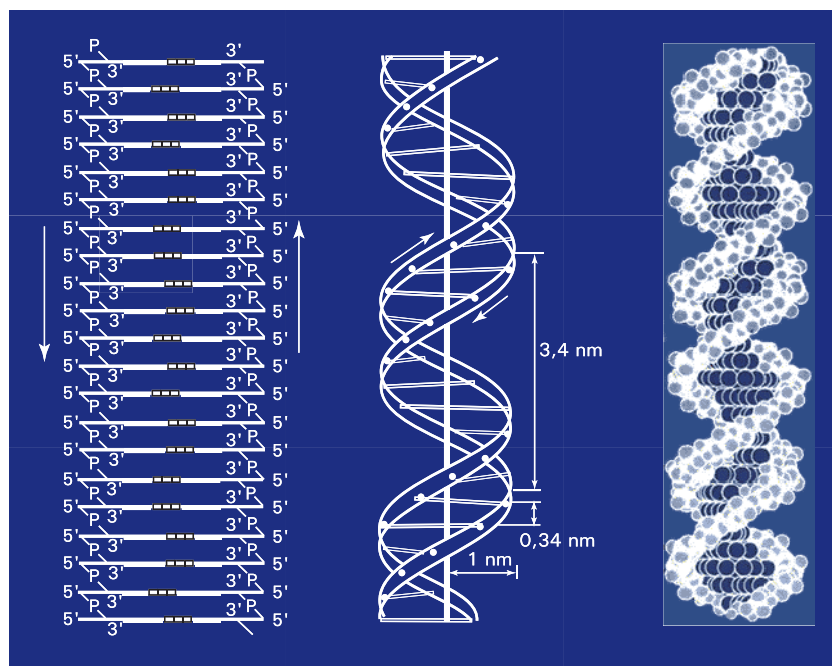
Watson, James (1928–)
és Crick, Francis (1916–)

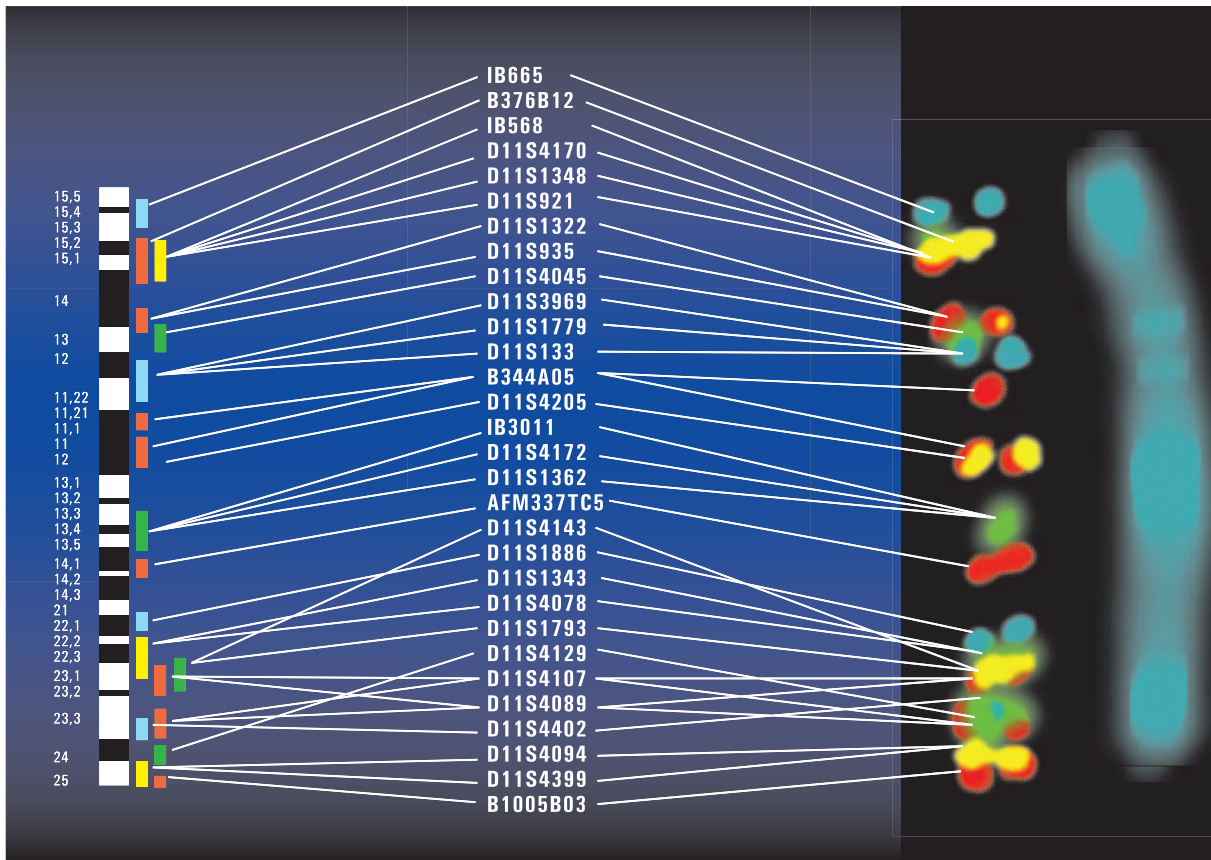
tű Budapesttől New Yorkig érne, vagy egy kb. kétezer kötetes könyvtárat tenne ki. Időben kifejezve pedig másodpercenként egy betűt leolvasva a teljes elolvasás száz évig tartana.

Nos, ezt az információsort sikerült most leolvasni egy több mint egy évtizedes, nemzetközi összefogással megvalósult tudományos program segítségével, melyet Humán Genom Programként szoktunk emlegetni. Természetesen e program elképesztő technikai nehézségeivel, a munka során alkalmazott szellemes trükkök, megoldások sorával itt nem tudunk foglalkozni. Próbáljuk talán elképzelni ezt a DNS-t fizikai valóságában. Az emberi DNS-kettőslánc teljes hossza közel két méter, vastagsága a milliméter 500-ezred része. Ez a fonal bonyolultan feltekeredve ott van minden egyes sejtben, amelyek átlagos átmérője alig több mint a milliméter századrésze. Vagy képzeljük el, hogy ha a sejt ez a terem, akkor a DNS mintegy 2000 kilométer hosszúságú, 2 milliméter vastagságú, 46 darabra vágott zsineg volna, amelynek egy nukleotidja néhány tized milliméter. A sorrend leolvasásához ezt a 2000 kilométeres madzagot 10–15 centis darabkákra vágták, ezeken egyenként meghatározták a nukleotidok sorrendjét, majd nagy teljesítményű szuperszámítógépek igénybevételével összeállították a teljes sorrendet. Mindez hat ország több ezer kutatójának több mint tízéves munkája volt, és több milliárd dollárba került.

Mire szolgálhat ez? Elmondhatjuk-e, hogy most már mindent tudunk az emberről, ahogy ezt a program indulásakor néhány túlbuzgó próféta ígérte? A válaszhoz előbb néhány további problémát kell tisztáznunk. Először is: ha minden ember különböző, nyilván a DNS-ük is az. Kinek a DNS-nukleotidsorrendjét tartalmazzák a számítógépes adatbázisok? A válasz: egy kevert, több emberből származó DNS-minta információtartalmát határozták meg, ez tehát nem egy egyéné, hanem valamiféle átlag, a tipikus ember nukleotid-sorrendje, amitől minden egyed egy kicsit külön-

A DNS szerkezete





Az ember 11. kromoszómája

bözik. A különbség egyébként nem nagy. Két ember között átlagosan minden ezredik nukleotidban van egy különbség, azaz az emberiség egyes egyedei között alig több mint egy ezrelék a különbség, és e különbség mintegy 15 százaléka a különböző fajták – például a fehérek és feketék – közti különbség, 95 százaléka pedig a fajtán belüli, egyedek közti különbség. Érdeemes megemlíteni, hogy a csimpánz és az ember közötti különbség is csak mintegy másfél százalék, az egér és az ember között pedig kb. tíz százalék különbség van.

A másik fontos kérdés a következő. Az, hogy ismerjük a nukleotid-sorrendet, azaz elolvastuk a teljes örökletes információtartalmat, azt jelenti-e, hogy meg is értettük az üzenetet? A válasz egyértelműen nem, ettől a megértéstől még nagyon messze vagyunk. Nagyrészt ismeretlen a szöveg központozása, tagolása, azaz nem tudjuk, hol kezdődnek és hol végződnek az egyes mondatok, vagyis a gének, tehát azt sem tudjuk, hogy hány génünk van összesen. Becslések szerint ez a génszám 30–40 ezer között lehet, tehát sokkal kevesebb, mint a régebben feltételezett mintegy százezer. Ahol ismerjük a gének helyét és határait, az esetek többségében ott sem ismerjük azok feladatát, szerepét, működésmódját.



Gének és betegségek

Érdemes itt megjegyezni, hogy az egyik genetikailag legjobban ismert mikroorganizmus, az élesztő esetében már hat évvel ezelőtt meghatározták a teljes DNS-nukleotidsorrendet, és pontosan behatárolták a mindössze hatezer gént, mégis e gének mintegy feléről ma sem tudjuk, hogy mi a feladata. Az emberi génállomány teljes megismerése tehát még évekig, sőt évtizedekig fogja foglalkoztatni a biológus kutatókat. Arra a kérdésre, hogy a jelenlegi ismereteket hogyan tudjuk felhasználni, a későbbiekben még visszatérünk, előbb azonban egy igen fontos kérdést kell tisztáznunk: mennyiben határozzák meg tulajdonságainkat, azaz tulajdonképpen sorsunkat, végzetünket a szüleinktől kapott információk, DNS-ünk, génjeink. Ez nagyon bonyolult probléma. Először is: számos, aránylag egyszerűen jellemezhető tulajdonság (pl. a testmagasság) sok gén bonyolult egymásra hatása révén határozódik meg. Ugyanakkor a legtöbb gén számos különböző hatásért felelős. És e hatások közül némelyik csak bizonyos speciális körülmények között érvényesül, más körülmények között rejtve marad.

Az ember (és minden élőlény) külső és belső tulajdonságai, egyénisége, sorsa nem egyszerűen és egyértelműen meghatározott génjei által, hanem a gének és a környezet, a körülmények, a megélt események bonyolult kölcsönhatásai révén alakul. A gének többnyire lehetőségeket és határokat jelölnek ki, hatásuk érvényesülését számos külső körülmény befolyásolja. Az is lehetséges, hogy egy bizonyos génváltozat úgy befolyásolja az anyagcserét, hogy az más gének működését megváltoztathatja, és nem kiszámítható vagy meghatározott, hogy mely génekét és hogyan. A gének tehát nem kikerülhetetlen végzetünket jelentik, hanem valószínű, lehetséges pályát jelölnek ki, határolnak be.

Lássuk mármost, hogy mit várhatunk az emberi DNS-**szekvencia** megfejtésétől. Csodákat biztosan nem. A DNS-szekvencia önmagában nem gyógyító erő. Néhány példa azonban talán rávilágíthat, hogy mi az, amit ténylegesen remélhet az orvostudomány. Tudjuk például, hogy léteznek az emberi szervezetben előforduló természetes fehérjék, **hormonok**, **citokinek**, amelyeket gyógyszerként használunk, ilyen például az **inzulin**, a növekedési hormon, vagy a vesebetegek dialízise során alkalmazott és sportdopplingszerként is használt **eritropoetin**. Ezeket az anyagokat a gyógyszeripar ma már kizárólag géntechnológiával állítja elő, ehhez voltaképpen még nem kellett a teljes információtartalom megismerése. Ez a megismerés azonban lehetővé tette új, eddig nem ismert, a szervezetben csak igen kis mennyiségben előforduló hormonhatású anyagok megismerését, előállítását és klinikai alkalmazását. Ilyen például egy sebgyógyulást segítő új hormon, vagy az a hormon, amely a jóllakottság érzetét közvetíti, így alkalmas fegyver lehet az elhízás elleni küzdelemben. Az ismert ún. genetikai betegségek – melynek oka egy-egy gén megváltozása, mutációja – diagnózisát, szűrővizsgálatát, olykor kezelését is nagymértékben segíti e gének szerkezetének pontos megismerése; ezek a betegségek azonban szerencsére aránylag ritkák.

Szekvencia:

egy makromolekulát (pl. DNS-t vagy fehérjét) felépítő kisebb molekulák sorrendje.

Hormon:

kémiai hírvivőanyag, mellyel a szervezet sejtjei információt közölnek egymással. A hormonok általában a véráram útján jutnak el a célsejthez, mely a termelő sejttől messze is lehet.

Citokin:

olyan hormon, amely nem a véráram útján hat távoli sejtekre, hanem a termelő sejt közvetlen környezetét befolyásolja. Igazi jelentőségük csak az utóbbi években kezd ki derülni.

Inzulin:

a hasnyálmirigy béta-sejtjei által termelt hormon, a cukoranyagcsere központi szabályozója.

Eritropoetin:

a vese által termelt hormon, mely a csontvelőre hat, és serkenti a vörösvértest-képzést.

Ma viszont azt is tudjuk, hogy a legfontosabb, legtöbb áldozatot szedő, legtöbb emberi szenvedést okozó betegségek: a rák, a cukorbetegség, a szív- és vérkeringési betegségek, a Parkinson-kór, az Alzheimer-kór, a szó szoros értelmében nem örökletesek, de kialakulásukban a gének is szerepet játszanak. A cukorbetegség egyik típusának keletkezésében például mai tudásunk szerint 17 gén játszik valamilyen szerepet. E gének megismerése, amit a Humán Genom Program tett lehetővé, igen nagy mértékben segíti az ilyen betegségek elleni küzdelmet. A kezelés hatékonysága szempontjából tehát ezek az ismeretek fontosak lehetnek. Mindenki tudja például, hogy az egyes emberek igen különböző módon reagálnak ugyanazon gyógyszerre. Még a legkiválóbb, leghatékonyabb gyógyszerek esetében is, amelyek a betegek döntő többségére jól hatnak, számos páciensnél súlyos, esetleg halálos kimenetelű mellékhatások léphetnek fel, míg más betegekre ugyanez a gyógyszer egyáltalán nem hat. E különbségeknek sokszor genetikai okai vannak, és ezek a genetikai különbségek ma már megismerhetők, megállapíthatók. A Humán Genom Programnak köszönhetően nincs messze az az idő, amikor egyes gyógyszerek alkalmazása előtt genetikai tesztvizsgálatot végeznek, és az orvos csak ennek birtokában írja majd fel a gyógyszert, vagyis kialakul az egyénre szabott gyógyszerrendelés gyakorlata.

Már két évtizede lehetséges egyes genetikai betegségek ún. génterápiás gyógyítása, azaz amikor a hibás gén mellé ép, egészséges gént visznek be. Ennek az eljárásnak a sikeressége, biztonsága azonban még nagyon kérdéses, és csak elvétve, néhány ritka betegség esetén alkalmazták.



Alzheimer-kórban szenvedő idős asszony

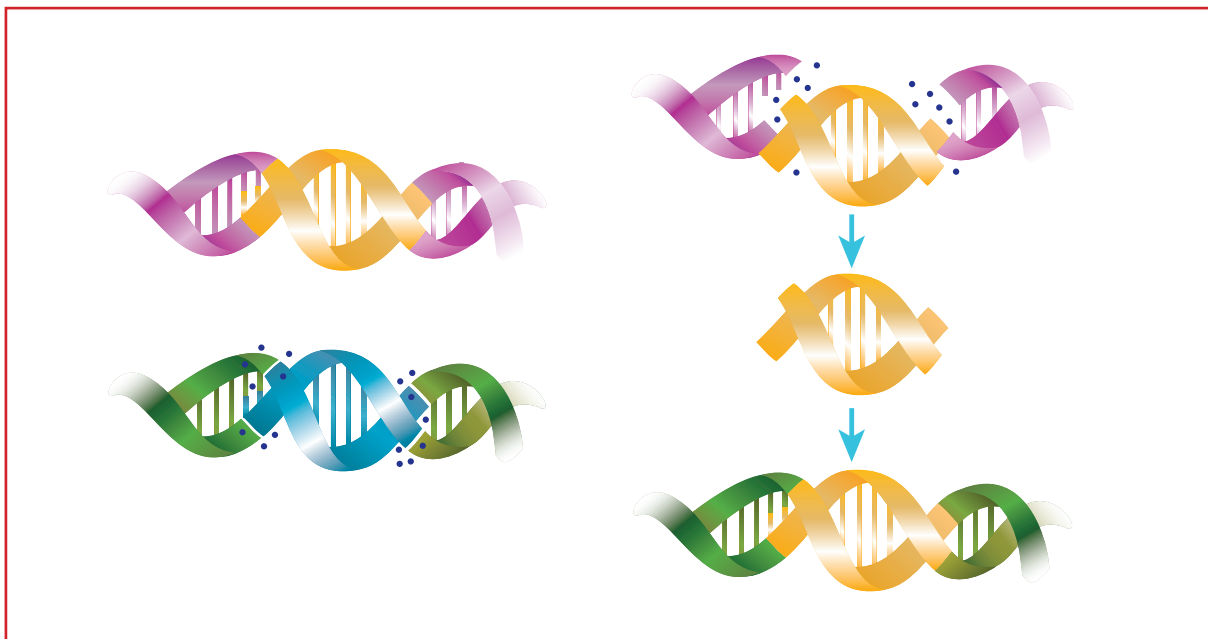
A génszerkesztés: jó vagy rossz?

Más a helyzet az állat-, a növény- és a mikrovilág esetében. A mintegy negyedszázada kidolgozott **génszerkesztés**nek nevezett technika ugyanis lehetővé teszi, hogy a DNS tetszés szerinti darabját kivegyük, áthelyezzük, megváltoztassuk, pontosan ismert módon javítsuk, ahogy a nyomdai korrektor javít egy szöveghibát, vagy a tördelő áteszi a cikk egy részét az újság másik oldalára. Mivel a DNS-t alkotó négyféle kisebb molekula, és az azokból összeállított tetszés szerinti DNS-szakasz mesterségesen is előállítható, annak sincs semmi akadálya, hogy mesterségesen előállított géneket vagy géndarabokat ültessünk be bármilyen élőlénybe. A genetikai anyag kívánt átszerkesztésének, az információ, az „üzenet” átírásának, korrigálásának lehetőségei technikai értelemben korlátlanok.

Ez a csodálatos lehetőség egyesek szerint riasztó és elborzasztó, érdemes tehát egy kicsit részletesebben foglalkoznunk vele. Először is le kell szögezni, hogy ez a bizonyos korlátlan lehetőség a kémcsőben történő, laboratóriumi átszerkesztésre, módosításra vonatkozik, azaz a DNS valóban tetszés szerint módosítható, de ez még nem biológia, a DNS nem él. Ahhoz, hogy ezek a génszerkesztési technikák biológiai jelentőséget nyerjenek, még legalább két feltételnek kell teljesülni: a módosított DNS-t be kell juttat-

Génszerkesztés:

az 1970-es években kifejlesztett molekuláris biológiai eljárások összefoglaló neve, segítségével mesterséges körülmények között gének cserélhetők ki különböző élőlények között.



A génszerkesztés sémája

ni az élő sejtbe, és a módosított DNS-nek meg is kell nyilvánulnia úgy, hogy az összeegyeztethető legyen az adott sejt életével. Ezek nem könnyű feltételek. Baktériumok és néhány mikroorganizmus, például az élesztő esetében a módosított DNS bejuttatása és működtetése igen egyszerű, soksejtű, magasabb rendű állatok és növények esetében a lehetőségek korlátozottabbak. Más szavakkal: génszerkesztéssel módosított, ún. GM-baktériumokat szinte tetszés szerint tudunk előállítani. Növények esetében sokkal nehezebb a kérdés, nem is minden növénynél sikerült eddig, de mindenesetre már számos fontos ilyen növényt alkalmaznak a mezőgazdaságban. Állatoknál még nehezebb a probléma, és noha kísérleti célból már sok ilyen állat készült, gyakorlati, állattenyésztési alkalmazása még nemigen van e technikának. Embernél az ivarsejtek örökletes állományába történő direkt beavatkozást jelenleg nem engedik meg, és a sokféle pletyka, szenzációhajhász újsághír ellenére, minden bizonnyal még nem is történt ilyesmi.

Ami a második feltételt illeti: nyugodtan állítható, hogy a génszerkesztés nem képes Gólemeket, Drakulákat vagy éppen sellőket előállítani, sőt minden bizonnyal a jövőben sem lesz erre képes. Az élő szervezetek ugyanis hihetetlenül komplex, az evolúció évmilliói során összecsiszolt gépezetek, ahol minden mindennel összefügg. E gépeket lehetetlen alapvetően átprogramozni, még akkor is, ha a programozásra – a szó technikai értelmében – korlátlanként a lehetőségeink. Képzeljünk el egy tökéletesen automatizált, programvezérelt gyárat, amely történetesen, mondjuk, mosógépeket gyárt. Nyilvánvaló, hogy ez a gyár az adott gépekkel, szerszámokkal, szállítószalagokkal akkor sem fog tudni porszívókat gyártani, ha a komputerbe beviszünk egy porszívógyárból származó programot. Ekkor a gyár nyilván egyszerűen leáll. A génszerkesztés által kreált ún. szörnyszülöttek tehát általában majdnem azonosak a módosítatlan élőlénnel, attól többnyire csak egyetlen apró sajáttságban külön-

GMO:

„Genetikailag Módosított Organizmus”, olyan élőlény, melynek örökítőanyagát génszerkesztés segítségével módosították.

böznök, például termelnek egy új fehérjét, amely az ember számára fontos, új tulajdonságot kölcsönöz a kérdéses élőlénynek. De lássunk néhány konkrét példát.

Géntechnológiával módosított élőlények

Mikroorganizmusokat az ember már régen használ egyes fontos anyagok termelésére – ezt nevezik fermentációs üzemnek –, ilyen anyagok például az **antibiotikumok**, egyes vakcinák vagy ipari **enzimek**. A génsebészet segítségével ma szinte minden gyógyászatiilag fontos fehérjét, hormont vagy ipari enzimet a korábbinál sokkal olcsóbban, mennyiségi korlátok nélkül állíthatunk elő baktériumok vagy más mikroorganizmusok segítségével. Így gyártják például ma a cukorbetegség inzulinját, az egyes rákok kezelésére szolgáló **interferont**, a dialízisre szoruló vesebetegek vagy doppingoló sportolók által használt vérképző hatású eritropoetint, az infarktus esetén életmentő vérrögoldó gyógyszert, a mosóporokban lévő fehérje- és zsírbontó enzimeket és számos más értékes anyagot.

Ezeket az alkalmazásokat ma már különösebb ellenállás nélkül elfogadják a közvélemény. Sokkal nagyobb problémát okoznak a növények. Ma az Egyesült Államok szója-, kukorica- és gyapottermésének döntő hányada GM-növény, azaz egyes gyomirtó szereknek vagy bizonyos fontos rovarkártevőknek ellenálló fajta, amelyekbe ezeket a tulajdonságokat génsebészeti technikával vitték be. Ezek a tulajdonságok a fogyasztó szempontjából közbömbösek, észlelhetetlenek, csak a mezőgazdasági termelő számára jelentenek munka-, illetve vegyszer-, tehát költségmegtakarítást, illetve termés- hozam-emelkedést. A technikát alkalmazó kutatók és vállalatok szerint a közeljövőben várható a fogyasztó számára is előnyös tulajdonságú termékek piacra kerülése, például a magasabb tápértékű kukorica vagy az egészségesebb olajat adó repce megjelenése, de egyelőre – különösen az Európai Unióban – igen nagy ellenállás mutatkozik az ilyen GM-élelmiszerekkel szemben. Ennek az előadásnak nem feladata, hogy ezt a vitát, amelyben környezetvédelmi, gazdasági, politikai szempontok is felmerülnek, részletesen ismertesse vagy állást foglaljon benne, azt azonban le kell szögezni, hogy – noha ma már nyolc éve százmilliók fogyasztottak és fogyasztanak GM-élelmiszereket – egyetlen hiteles tény sem bizonyítja, hogy ezek bármilyen káros hatást okoztak volna bárkinél. Mint mondtam, a vita egésze itt nem ismertethető, egyetlen kérdést azért talán érdemes megemlíteni. A GM-élelmiszerek ellenzői azzal érvelnek, hogy az ilyen élelmiszerek allergiát okozhatnak, és ezt azzal támasztják alá, hogy egy esetben ilyen allergiát valóban kimutattak egy GM-növénynél. Nos ez igaz, de hozzá kell tenni, hogy ez egy kísérlet során fordult elő, és a kérdéses GM-növényt természetesen nem engedték köztermesztésbe és fogyasztásra. Ennek következtében viszont minden GM-növényt alaposan megvizsgálunk allergia szempontjából.

Antibiotikum:

mikroorganizmusok által termelt majd általában kémiai módon módosított anyagok, melyek más mikroorganizmusokat képesek elpusztítani. Az első felfedezett antibiotikum a penicillin volt.

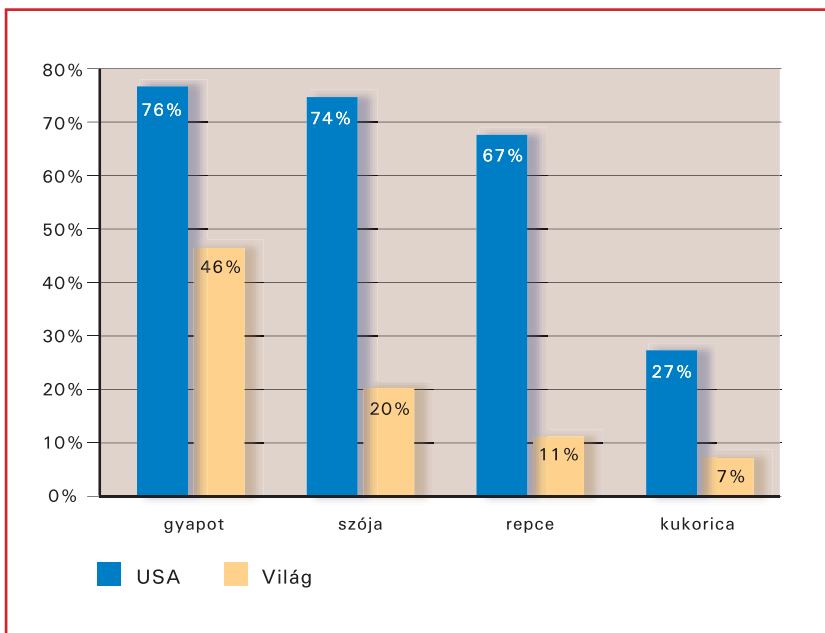
Enzim:

fehérje, mely nagyon specifikusan katalizál egy biokémiai reakciót a sejtben.

Interferon:

fehérvérsejtek által használt kommunikációs fehérjék.

*Az USA és a világ
GM-vetésterülete*



ból, tehát azok sokkal biztonságosabbak, mint a hagyományos termesztett növények, amelyek közül néhány, például az eper vagy a földimogyoró, igen gyakran okoznak – esetleg halálos kimenetelű – allergiát. Érdeemes azt is megemlíteni, hogy a kutatók ígéretes kísérleteket folytatnak abban az irányban, hogy az ilyen allergiát okozó termesztett növényeket génsebészeti technikával mentesítsék az allergén hatástól.

GM-állat gyakorlatilag még nincs a világ mezőgazdaságában. Kísérleti sikereket elsősorban a lazaccal értek el, ahol a növekedési hormon génjének beültetésével kétszeresére sikerült növelni a halak növekedési sebességét, de a nyilvánvaló gyakorlati haszon ellenére ezt az eljárást a gyakorlatban még nem engedélyezték. Az állatokon végzett génsebészeti beavatkozásnak azonban ismerjük két fontos alkalmazását.

Az egyik az, hogy különösen értékes és drága gyógyhatású fehérjéket – ilyen például a vérzékenység egyik típusának kezeléséhez szükséges ún.

Dolly, a génmódosított birka



nyolcas faktor, amelynek baktériumban való termeltetése nem megoldható – háziállatok, például kecske vagy juh tejében lehessen termelni. Ez azt jelenti, hogy néhány kecskével a Föld összes ilyen betegének ellátása megoldható lenne. Ezzel a kérdéssel kapcsolatban érdemes megjegyezni, hogy a nagy vihart kavart állatklónozási kísérletek, például a híres Dolly-birka létrehozása, éppen azt a célt szolgálta, hogy az ilyen gyógyszert termelő háziállatok szaporítása hatékonyabban legyen biztosítható.

Az állati génsebészet másik fontos alkalmazása az ún. „kiütött” (knock-out) egerek létrehozása. A kutatók ugyanis ma már az egér bármelyik génjét működésképtelenné tudják tenni igény szerint, ezt nevezik „kiütésnek” (**knock-out egér**). Mivel – mint már mondtam – az egér és az ember között elég nagy a genetikai hasonlóság, igen sok emberi gén funkcióját, működését ilyen egerek segítségével sikerült megismerni, és természetesen a gyógyítási eljárások kidolgozása szempontjából is hasznos segítséget nyújthatnak a „kiütött” egerek.



Kiütött egerek létrehozása mikro-manipulációval

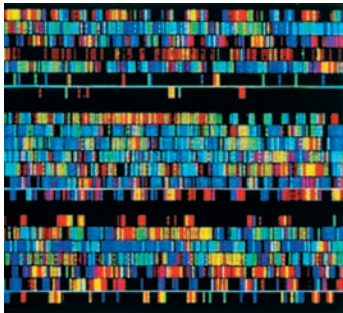
Az emberi génsebészet

Befejezésül térjünk vissza az emberi génsebészet lehetőségeihez és korlátaikhoz. Noha az eddigiekben erről nem ejtettünk szót, nyilvánvaló, hogy a soksejtű állatok és növények – így az ember – esetében is alapvető különbséget jelent, hogy a beavatkozás, módosítás, génbevitel ivarsejtbe vagy valamely testi sejtbe történik. Világos, hogy míg az első esetben valódi örökletes változás történik, addig az utóbbiban a beavatkozás csak egyes szervekre, szövetekre hat, és nem öröklődik.

Az előbbieken említett állatoknál ivarsejtbe, illetve korai embrióba történt a beavatkozás. A növényeknél erre nincs szükség, mert a növényeknél testi sejtekből is fel lehet nevelni teljes, szaporodásképes növényt. Embernél azonban a két lehetőséget élesen ketté kell választani. A korábban említett korlátozott sikerű génterápiás kísérletek – egyes örökletes immunhiány-betegségek, illetve vérzékenységek gyógyítására – mindig testi sejtekben történtek úgy, hogy a csontvelő vérképző sejtjeit kivették a betegből, elvégezték rajtuk a génsebészeti beavatkozást, majd visszahelyezték a módosított sejteket a betegbe. Nyilvánvaló, hogy ez a technika korlátozza azoknak a betegségeknek a körét, ahol alkalmazható (jelenleg csak a vér és a vérképző rendszer betegségeire), és kérdéses, hogy mennyire maradandó és teljes a gyógyulás. A sikeres és teljes, szinte minden örökletes betegségre alkalmazható génterápia elvileg az volna, ha – az egerekhez hasonlóan – a beavatkozást az embernél is a korai embrióban végeznék el. Ennek legfontosabb előfeltétele a kérdéses génnek helyének, szerkezetének, működésének megismerése, amit a Humán Genom Program sikeres befejezése tett lehetővé. Ez azonban valóban csak előfeltétel. Az ember ugyebár mégsem egér, és az az eljárás, amely bevált az egereknél, alacsony hatékonysága, kockázatosága miatt egyelőre nem alkalmazható embernél. Világszerte, így például hazánkban az MTA Szegedi Bio-

Knock-out egér:

olyan egér, melyből egy vagy több gént célzottan eltávolítottak. Általában fejlődési folyamatok vizsgálatára használják őket.

*Emberi DNS-szekvencia*

lógiai Központjában is intenzív kutatómunka folyik abban az irányban, hogyan lehetne ezt az ún. csíravonali génterápiát olyan biztonságosan megvalósítani, hogy emberi alkalmazása is szóba kerülhessen, de ez mindenképpen a távolabbi jövő lehetősége. A jelenleg világszerte uralkodó vélemény szerint az ilyen beavatkozás etikailag sem elfogadható, tehát ilyen emberkísérletek sem folynak sehol. Azokat az újsághíreket, amelyek arról beszélnek, hogy „rendelhető” bizonyos tulajdonságú gyerekek, nyugodtan minősítse kacsának a kedves hallgató. A genetikai diagnosztika fejlődése azonban – amelyet hihetetlenül felgyorsított a teljes emberi DNS-sorrend megismerése – minden bizonnyal egyre több genetikai betegség esetében fogja segíteni a hordozók kiszűrését, az ún. preimplantációs diagnosztika felhasználásával az egészséges (beteg gént nem hordozó) utód kiszűrését, illetve egyes betegségek esetében a súlyos következmények enyhítését, esetleg teljes elkerülését.

A genomszerkezet teljes megismerését, a gének célzott módosítását, a géntechnológiát tehát ne tekintsük istenkísértésnek, szörnyű fenyegetésnek, hanem olyan új lehetőséget kell inkább látnunk benne, amelyet, mint a tudomány valamennyi eredményét – az atomenergiát, az információs technológiát, a repülést stb. – az ember felhasználhatja jóra is, rosszra is. Még a jó célokat szolgáló felhasználás esetében is szükségszerűen számolni kell bizonyos veszélyekkel, kockázatokkal – ahogy igaz ez minden eddigi tudományos-technikai eredmény esetében –, és mindannyiunk közös felelőssége, hogy milyen bölcsen, kritikusan és mértéktartóan élünk ezekkel az eszközökkel.

Ajánlott irodalom

- Alberts, Bruce – Lewis, Julian – Roberts, Keith:* Molecular Biology of the Cell. Garland, 2002.
- Cavalli-Sforza, Luca:* Genetikai átvjáró: Különbözőségünk története. Bp.: HVG Kv., 2002.
- Czeizel Endre:* Költők – Gének – Titkok. Bp.: Galenus, 2000.
- Copeland, Peter – Hamer, Dean:* Génjeink. Bp.: Osiris, 2002.
- Griffiths, Anthony J. F. – Miller, Jeffrey H. – Suzuki, David T.:* An Introduction to Genetic Analysis. WH Freeman & Co., 2000.
- Passarge, Eberhard:* Color Atlas of Genetics. Thieme Medical, 2001.
- Purves, William K. – Sadava, David – Orians, Gordon H. – Heller, H. Craig:* Life, The Science of Biology, WH Freeman & Co., 2000.
- Reilly, Philip:* Abraham Lincoln's DNA and Other Adventures in Genetics. CSHL Press, 2000.
- Ridley, Matt:* Génjeink: Egy faj önéletrajza 23 fejezetben. Bp.: Akkord, 2002.
- Strachan, Read:* Human Molecular Genetics 2, Wiley-Liss, 2002.
- Venetianer Pál:* A DNS szép új világa. Bp.: Kulturtrade, 1998.
- Venetianer Pál:* A DNS-szerkezettől a genomszerkezetig. *Magyar Tudomány*, 48. 2003/5. 557–565.
- Venetianer Pál:* Géntechnológia-ellenesség – Tudományellenesség? *Magyar Tudomány*, 44. 1999/10. 1170–1176.
- Venetianer Pál:* Út az „Élet könyve” elolvasásához. *Magyar Tudomány*, 47. 2002/5. 560–566.
- Watson, James:* A gén molekuláris biológiája. Bp.: Medicina, 1980.
- Watson, James:* A Passion for DNA: Genes, Genomes and Society. CSHL Press, 2000.

